



Universidad Nacional del Litoral

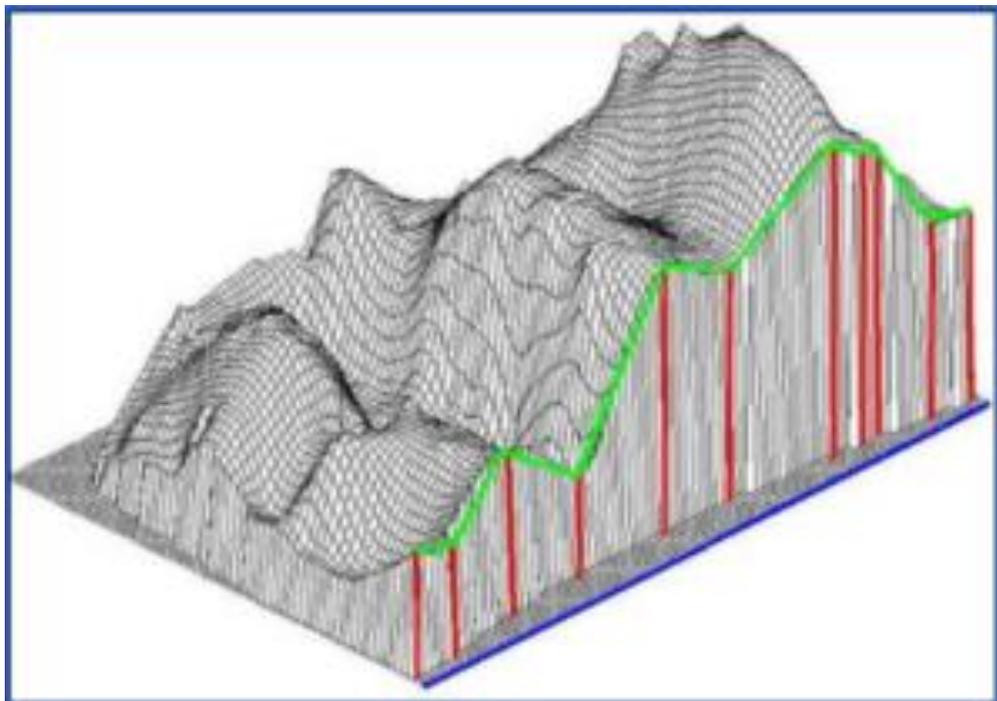
Escuela Industrial Superior

Construcciones



Topografía

MÉTODOS DE NIVELACIÓN GEOMÉTRICA



Unidad 5

UNIDAD TEMÁTICA N°5

Métodos de nivelación geométrica

Objetivos: Que el alumno sea capaz de controlar y corregir una nivelación como también de conocer y emplear los diferentes métodos para relevar altimétricamente una superficie. Además, deberá saber calcular volúmenes de excavación o relleno como también generar planos altimétricos (curva de nivel y perfiles topográficos).

Contenidos:

Distintos métodos de nivelación geométrica, abiertas y cerradas, con y sin control de cierre altimétrico.

Nivelación por radiación, nivelación por cuadrículas y nivelación por perfiles transversales.

Cálculo de volúmenes de excavación.

Curvas de nivel, cálculo y dibujo.

Interpretación de planos acotados.

Trabajos Prácticos: Se realizará un trabajo práctico en donde el alumno aprenda a realizar nivelaciones geométricas de grandes extensiones a través de los diferentes métodos aprendidos (por radiación, por cuadrículas y por perfiles transversales). Además, se calcularán volúmenes de excavación y se realizarán planos de curvas de nivel y de perfiles topográficos.

Bibliografía

Bibliografía obligatoria: Apuntes de la cátedra.

Bibliografía extra: Apuntes proporcionados por la cátedra Topografía General de la Universidad Nacional del Litoral. En página web:

<https://sites.google.com/site/topografiagr/apuntes-de-catedra> o Leonardo Casanova Matera (2002), “*Topografía plana*” Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería Departamento de Vías. Ed. Merida. En página web: <https://vagosdeunisucre.files.wordpress.com/2013/12/libro-de-topograf3ada-plana-leonardo-casanova-m.pdf> o <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/Inova/>.

Distintos métodos de nivelación geométrica, abiertas y cerradas, con y sin control de cierre altimétrico: M. Farjas “*Nivelación Geométrica – Tema 4*”. En página web: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_NG_Tema4.pdf.

Curvas de nivel, cálculo y dibujo: Jorge Franco Rey (1999), “*Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía*”. Universidad de Extremadura Servicio. En página web: http://www.alfatopografia.com/manuales/Nociones_de_Topografia.pdf o José Francisco Benavides Núñez y Otros “*Topografía en los proyectos de Construcción – Capítulo 3: Curvas de Nivel y perfiles*” Línea de investigación: Tecnologías y Procedimientos Constructivos Facultad de Ingeniería / Escuela de Construcción Civil Pontificia Universidad Católica de Chile. En página web: http://www.academia.edu/7675492/Pontificia_Universidad_Cat%C3%B3lica_de_Chile._Facultad_d_e_Ingenier%C3%ADa_Escuela_de_Construcci%C3%B3n_Civil.

Nivelación por radiación, nivelación por cuadrículas y nivelación por perfiles transversales: “LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS – NIVELACIÓN DIRECTA”. En página web: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6707s/x6707s08.htm#65a.

Cálculo de volúmenes de excavación: José Francisco Benavides Núñez y Otros “*Topografía en los proyectos de Construcción – Capítulo 3: Curvas de Nivel y perfiles*” Línea de investigación: Tecnologías y Procedimientos Constructivos Facultad de Ingeniería / Escuela de Construcción Civil Pontificia Universidad Católica de Chile. En página web: http://www.academia.edu/7675492/Pontificia_Universidad_Cat%C3%B3lica_de_Chile._Facultad_d_e_Ingenier%C3%ADa_Escuela_de_Construcci%C3%B3n_Civil o la página web: <http://ing-andresmorales.blogspot.com.ar/2009/03/nivelacion-topografica.html>.

Interpretación de planos acotados: José Francisco Benavides Núñez y Otros “*Topografía en los proyectos de Construcción – Capítulo 3: Curvas de Nivel y perfiles*” Línea de investigación: Tecnologías y Procedimientos Constructivos Facultad de Ingeniería / Escuela de Construcción Civil

Pontificia Universidad Católica de Chile. En página web:
http://www.academia.edu/7675492/Pontificia_Universidad_Cat%C3%B3lica_de_Chile._Facultad_de_Ingenier%C3%ADa_Escuela_de_Construcci%C3%B3n_Civil o Curso de Aprendizaje “*Diseño, Construcción y Operación – Unidad 6: Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio*”. En página web: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad5.html#ir8 o “*Cálculo de volúmenes: terraplenes y desmontes*”. En página web: <https://erods.files.wordpress.com/2009/09/volumes.pdf>.

Índice

Medición de ángulos y distancias con un nivel taquimétrico.....	4
Medición de distancias: TAQUIMETRÍA	4
Medición de ángulos	5
Medición de ángulos y distancias	6
Distintos métodos de nivelación geométrica: abiertas, cerradas; con y sin control de cierre altimétrico 7	7
Nivelación abierta.....	7
Nivelación abierta con control de cierre	7
Nivelación cerrada	8
Corrección de cotas	9
Curvas de nivel, cálculo y dibujo.	10
Equidistancia.....	11
Métodos para la Determinación de las Curvas de Nivel	12
Características de las Curvas de Nivel	12
Cálculo de la Cota de un Punto entre curvas de nivel	14
Clases de curvas de nivel.....	14
Nivelación por radiación, nivelación por cuadrículas y nivelación por perfiles transversales.....	16
Método de Radiación	16
Método de la Cuadrícula	17
Método de Secciones Transversales y Longitudinales o de Perfiles.....	18
Cálculo de volúmenes de excavación.....	20
Método de las áreas medias para el cálculo de volúmenes.....	20
Método del prismoide para el cálculo de volúmenes	22
Interpretación de planos acotados.	23
Plano de curvas de nivel	23
Perfiles topográficos.....	24

Medición de ángulos y distancias con un nivel taquimétrico

Además de poder obtener la diferencia de nivel entre dos puntos, los niveles pueden medir distancias a través de la taquimetría y medir ángulos a través de un limbo horizontal que posee. Esto genera que el nivel además de trabajar altimétricamente pueda ser utilizado para representar los puntos planimétricamente, es decir, sobre un plano.

Medición de distancias: TAQUIMETRÍA

La taquimetría o método de la estadia es una herramienta topográfica rápida y eficiente que sirve para medir distancias a través de un nivel. La taquimetría, palabra compuesta proveniente del griego *ταχύς-metro* que significa medida rápida, es un procedimiento topográfico que se apoya en la medición óptica de distancias para la ubicación planimétrica de puntos sobre la superficie terrestre.

Este método se basa en el principio de triángulos semejantes, en el que los lados correspondientes son proporcionales y el mismo se puede desarrollar a partir de la siguiente figura:

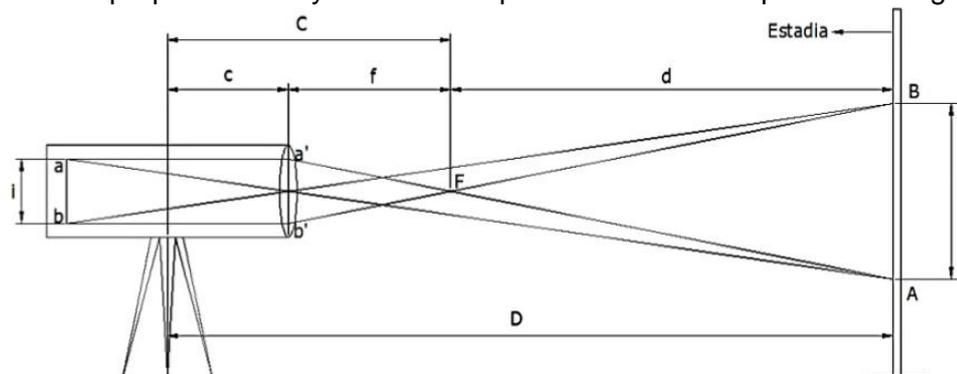


Figura 5.1: Taquimetría

En la misma cada letra significa lo siguiente:

C=Distancia entre el centro del instrumento y el centro del objetivo

F=Foco

f=distancia focal de la lente

d=distancia entre el punto focal y la mira

C=Constante menor de estadia, c+f

D=Distancia entre el centro del instrumento y la mira, C+d

I=Intervalo o lectura de mira, AB

i= Separación de los hilos de la mira, ab

De estas variables, la D es la que se desea obtener. Planteando el principio de triángulos semejantes se puede decir que:

$$f/i = d/I$$

Despejando la distancia entre el punto focal y la mira obtendríamos

$$d = f/i * I$$

La distancia D que se desea calcular por lo tanto es:

$$D = C + f/i * I$$

La relación entre la distancia del punto focal a la estadia con respecto a la separación de los hilos de la estadia (f/i) generalmente llamado "factor de lectura" o "intervalo de estadia" viene definido por el fabricante del nivel. La misma se la menciona con la letra K ya que es una constante y generalmente por convención de los fabricantes es equivalente a 100. La constante $K=f/i$ puede ser calculada con la comparación entre una medición con cinta de una distancia y otra medición realizada con taquimetría.

Los anteojos de enfoque interior están contruidos de tal modo que C es cero o muy aproximadamente este valor, lo que constituye una ventaja muy importante en las mediciones estadimétricas ya que la distancia que se desea calcular se reduce a la siguiente fórmula:

$$D = 0 + K * I$$

$$D = K * I$$

Donde generalmente $k=100$ y por lo tanto lo único que se necesita saber es la distancia "I" que se encuentra sobre la mira, entre el hilo estadimétrico superior y el inferior, como se muestra en la siguiente figura:

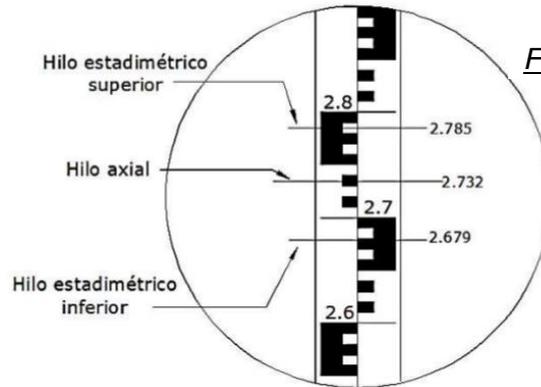


Figura 5.2: Hilos estadimétricos

Para calcular la distancia desde el nivel hasta la mira que se mostró se realiza el siguiente procedimiento:

$$\text{Distancia} = (\text{Lectura superior} - \text{Lectura inferior}) * 100$$

$$D = (L_s - L_i) * 100$$

$$D = (2,785 - 2,679) * 100$$

$$D = 10,6m$$

Estas lecturas estadimétricas también se utilizan para realizar un control aproximado de la lectura del hilo axial, es decir, de la distancia del plano horizontal generado por el nivel con respecto al piso. El mismo se realiza al realizar el promedio de ambas lecturas. En el caso anterior podremos comprobarla como se muestra a continuación:

$$\text{Lectura intermedia} = (\text{Lectura superior} + \text{lectura inferior}) / 2$$

$$L = (L_s + L_i) / 2$$

$$L = (2,785 + 2,679) / 2$$

$$L = 2,732m$$

Medición de ángulos

Por último, como se mencionó anteriormente, el nivel también puede realizar una lectura de ángulos entre dos puntos como lo muestra la figura 5.3. Al igual que la distancia por taquimetría, las mediciones de ángulos no son las más precisas, sino que son para obtener una referencia aproximada de la ubicación del punto al que se le está realizando la lectura.



Figura 5.3: Medición de un ángulo entre dos puntos

La medición de ángulos se realiza a través del limbo graduado horizontal que posee el nivel sobre su base nivelante. Primeramente, se debe colocar la dirección de los cero grados apuntando hacia un punto conveniente, siendo este último el Norte (medido con brújula) u otro punto que se encuentre en el terreno como una torre lejana o la arista de un edificio.

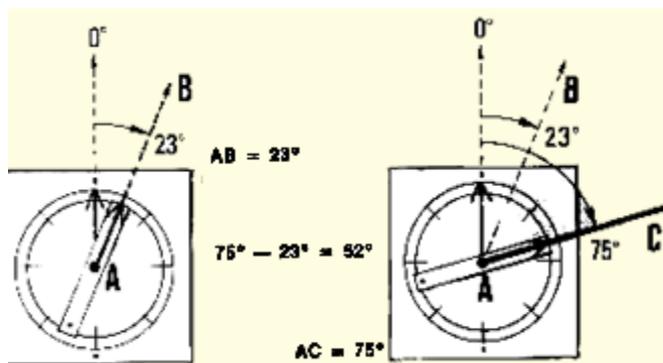


Figura 5.4: Medición de ángulos

Una vez determinado y fijado el cero arbitrario se ajusta el tornillo que fija la base nivelante al limbo para que el mismo no se desplace. Luego se dirige la visual del nivel hacia los puntos deseados anotando, como lo muestra la figura 5.4, los ángulos que se observan en el limbo con respecto al cero propuesto. Por último, al realizar una simple resta podremos calcular el ángulo existente entre el punto B y el punto C deseados y el nivel.

Distintos métodos de nivelación geométrica: abiertas, cerradas; con y sin control de cierre alimétrico

Las nivelaciones geométricas se pueden dividir en nivelaciones abiertas o cerradas

Nivelación abierta

Las líneas de nivelación abiertas son aquellas en la que partimos de un punto conocido y finalizamos en otro punto que no conocemos. Por ejemplo y como lo muestra la figura 5.6, partimos desde punto A que posee una cota conocida y terminamos nuestra nivelación en el punto B obteniendo de esta manera la cota de este último punto (10,03 m) que previamente no se conocía.

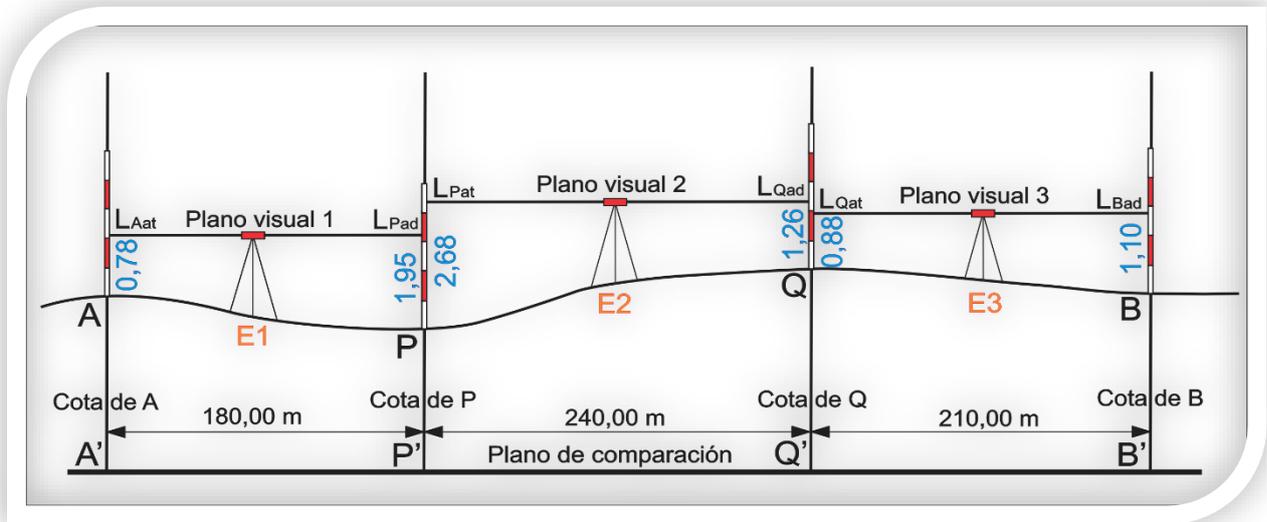


Figura 5.6: Nivelación abierta

En este tipo de nivelaciones no se puede realizar ningún tipo de control por lo tanto la planilla de nivelación queda como lo muestra la siguiente figura:

Planilla de nivelación con planos visuales							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Punto visado	Distancias (m.)		Lecturas (m.)			Cota Plano Visual (m.)	Cotas (m.)
	Parcial	Acumulada	Atrás	Intermedia	Adelante		
A	0,00	0,00	0,78			10,78	10,00
P	180,00	180,00	2,68		1,95	11,51	8,83
Q	240,00	420,00	0,88		1,26	11,13	10,25
B	210,00	630,00			1,10		10,03
		Σ lect. atrás	4,34	Σ lect. adelante	4,31		

Figura 5.7: Planilla de nivelación de la nivelación abierta

Nivelación abierta con control de cierre

Las líneas de nivelación abiertas con control de cierre son aquellas en la que partimos de un punto conocido y finalizamos en otro punto que conocemos pero que no es el mismo de partida. Por ejemplo, en la figura 5.6, partimos del punto A que posee cota conocida y terminamos nuestra nivelación en el punto B que también posee una cota conocida.

En este tipo de nivelaciones se debe realizar el control de cierre alimétrico. Para esto primeramente se calcula el error de cierre alimétrico cometido mediante la fórmula del error:

$$\varepsilon = O - V$$

Siendo: ε = error; O = medición observada; V = valor verdadero

En este caso el valor verdadero es la cota conocida del punto B y, la medición observada, es la calculada mediante la planilla de nivelación (10,03m).

Una vez obtenido el error se lo compara con la tolerancia dependiendo del tipo de precisión que se desee alcanzar en el trabajo ya sea:

- Nivelación de primer orden: *Alta precisión: $T=3mm L(km)$* ; Siendo L=Recorrido total en km.
Precisión: $T=5mm L(km)$;
- Nivelación de segundo orden: $T=1cm L(km)$;
- Nivelación de tercer orden: $T=3cm L(km)$; (nivelación de canales o caminos)
- Nivelación de cuarto orden: $T=10cm L(km)$; (nivelación para cálculos de desmonte, movimientos de suelos)

Si la tolerancia del trabajo supera al error de cierre alimétrico se procederá a realizar la compensación de la nivelación. En el caso de que el error de cierre alimétrico supere la tolerancia del trabajo se considerará que la nivelación efectuada es inadmisibles y debe volver a efectuarse para subsanar los errores cometidos.

Nivelación cerrada

Las líneas de nivelación cerradas son aquellas en la que partimos de un punto conocido y finalizamos sobre el mismo punto de partida. Éstas son las que generalmente se utilizan en topografía de pequeña extensión para obtener la cota de un punto ya que permite compensar los errores cometidos. En el primer ejemplo de la figura 5.6 (nivelación abierta) partimos del punto A que posee una cota conocida y terminamos nuestra nivelación en el punto B obteniendo de esta manera la cota de este último punto (10,03m) que previamente no se conocía, pero sin realizar una compensación de errores cometidos. Para poder compensar estos errores se debe efectuar una “nivelación de vuelta”, es decir, hacer la misma nivelación, pero partiendo desde el punto B hacia el punto A. De esta manera, deberíamos llegar al punto A con la misma cota con la que partimos inicialmente.

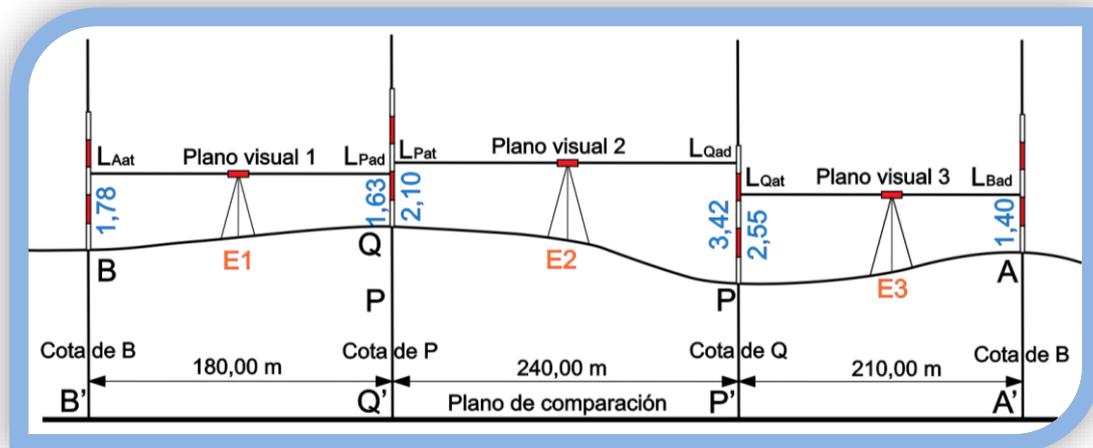


Figura 5.8: Nivelación de vuelta

En la figura 5.8 se puede observar la “nivelación de vuelta” para realizar la compensación de los errores y en la figura 5.9 se visualiza la planilla de nivelación para dicho trabajo.

Planilla de nivelación “De Vuelta”							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Punto visado	Distancias (m.)		Lecturas (m.)			Cota Plano Visual (m.)	Cotas (m.)
	Parcial	Acumulada	Atrás	Intermedia	Adelante		
B	0,00	0,00	1,78			11,81	10,03
Q	210,00	210,00	2,10		1,63	12,28	10,18
P	240,00	450,00	2,55		3,42	11,41	8,86
A	180,00	630,00			1,40		10,01
		\sum lect. atrás	6,43		\sum lect. adelante	6,45	

Figura 5.9: Planilla de “nivelación de vuelta”

Para realizar el control de cierre alimétrico primeramente se calcula el error de cierre alimétrico cometido mediante la fórmula del error:

$$\varepsilon = O - V$$

Siendo: $\varepsilon = \text{error}$; $O = \text{medición observada}$; $V = \text{valor verdadero}$

En este caso el valor verdadero es la cota conocida del punto A (10,00m) y la medición observada es la calculada mediante la planilla de nivelación de vuelta, en nuestro ejemplo: 10,01m

Una vez obtenido el error (0,01m) se lo compara con la tolerancia dependiendo del tipo de precisión que se desee alcanzar en el trabajo. Si esta tolerancia supera al error de cierre alimétrico (0,01m) se procederá a realizar la corrección de la nivelación. En el caso de que el error de cierre alimétrico supere la tolerancia del trabajo se considerará que la nivelación efectuada es inadmisibles y debe volver a efectuarse para subsanar los errores cometidos.

Corrección de cotas

La compensación consiste en repartir el error de cierre entre los datos de campo de forma que el error de cierre sea cero. Se pueden adoptar los siguientes criterios:

- Proporcional a las distancias de los tramos.
- Partes iguales a los tramos.
- Proporcional a los desniveles parciales.

• Proporcional a las longitudes de los tramos.

El error de cierre cambiado de signo se divide entre la suma de las longitudes de los tramos, y se multiplica por la longitud del tramo cuya compensación se desea obtener. Este cálculo se repite para cada tramo y es el más utilizado.

Para comprenderlo mejor recordamos que el error de cierre alimétrico es " $e=O-V$ " y por lo tanto:

$V = O - e$ (Verdadero = Observado - error), es decir que la cota verdadera o corregida equivale a la cota observada o calculada menos la compensación del error que, en este caso, se realiza de la siguiente manera:

$$C_c = C - e * L_i / L$$

Siendo: $C_c = \text{Cota compensada}$.

$C = \text{Cota observada}$.

$L_i = \text{distancia nivelada hasta el punto considerado}$.

$L = \text{distancia total nivelada}$.

$e = \text{error de cierre alimétrico}$.

• Partes iguales a los tramos

El error de cierre cambiado de signo se divide entre el número de tramos, el valor obtenido es el valor para aplicar como compensación a cada uno de los desniveles. Es el más rápido y fácil de comprender, pero no el más utilizado por su menor precisión.

$$C_c = C - e * N_i / N_t$$

Siendo: $C_c = \text{Cota compensada}$.

$C = \text{Cota observada}$.

$N_i = \text{Número del tramo del punto considerado}$.

$N_t = \text{Cantidad de tramos totales}$.

$e = \text{error de cierre alimétrico}$.

• Proporcionales a los desniveles parciales

El error de cierre con signo contrario se divide entre la suma total de desniveles en valor absoluto, y se multiplica por el valor absoluto del desnivel que corresponde al tramo cuya compensación queremos calcular.

Curvas de nivel, cálculo y dibujo.

Es el método más empleado para la representación gráfica de las formas del relieve de la superficie, ya que permite determinar, en forma sencilla y rápida, la cota o elevación del cualquier punto del terreno, trazar perfiles, calcular pendientes, resaltar las formas y accidentes de la superficie, etc.

Una *curva de nivel* es la traza que se marca entre una superficie del terreno con un plano horizontal que la intersecta, por lo que podríamos definirla como *la línea continua que une puntos de igual cota o elevación*.

Si una superficie de terreno es cortada o interceptada por diferentes planos horizontales, a diferentes elevaciones equidistantes entre sí, se obtendrá igual número de curvas de nivel como planos horizontales. Al ser proyectadas y superpuestas sobre un plano común, representarán el relieve del terreno. El concepto de curvas de nivel se ilustra en la figura 5.10 y 5.11.

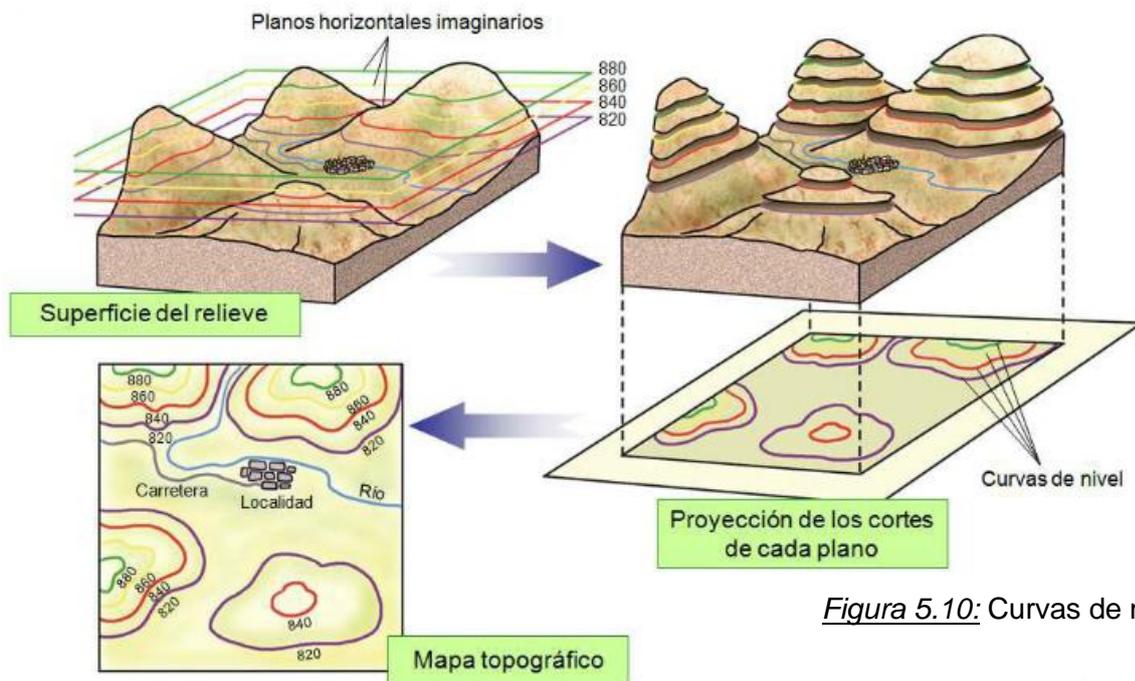


Figura 5.10: Curvas de nivel

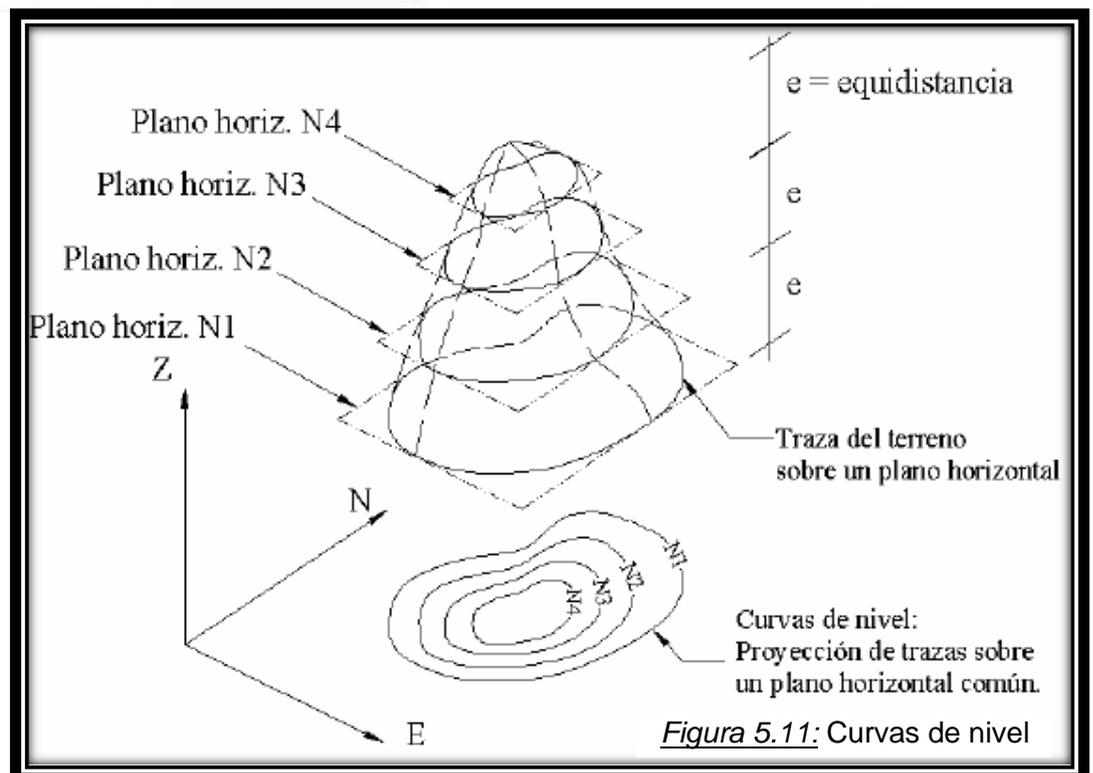


Figura 5.11: Curvas de nivel

Equidistancia.

La distancia vertical o desnivel entre dos curvas consecutivas es constante y se denomina *equidistancia*.

El valor de la equidistancia depende de la escala, la precisión y el relieve con que se desea elaborar el mapa. Como norma general se recomienda que se utilice la equidistancia normal (e_n), definida como la milésima parte del denominador de la escala, expresada analíticamente según la siguiente ecuación.

$$e_n = M/1.000$$

en donde,

e_n = equidistancia normal.

M = modulo, es decir, denominador de la escala.

Ejemplo numérico:

El valor de la equidistancia normal (e_n) recomendado para la elaboración de un plano de curvas de nivel a escala 1/2000 será:

$$e_n = 2.000/1.000 = 2 \text{ m}$$

$$e_n = 2 \text{ m}$$

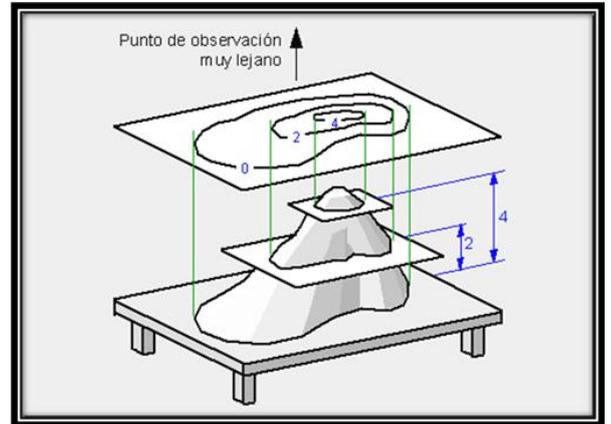


Figura 5.12: Curvas de nivel

Dicha equidistancia también depende de los siguientes factores:

a. El relieve del suelo: La corteza terrestre no es uniforme, no presenta la misma morfología. Por tal motivo, es imposible representar la corteza terrestre con una sola equidistancia, en razón de que una carta topográfica se requiere mostrar la modalidad altimétrica de los distintos terrenos y cada sector de terreno presenta distintas características en ese sentido. Su estudio mostrará la equidistancia a elegir para que no resulte exagerada o deficiente.

Si en un terreno llano y en parte anegadizo se estableciera una equidistancia superior o cercana al valor máximo de sus desniveles, desaparecerían los pequeños relieves que lo caracterizan y perdería la condición de anegadizo.

El caso contrario sucedería en un terreno rico de formas, si se lo representara con una equidistancia muy chica, pues el exceso de curvas impediría la lectura y recargaría el dibujo sin provecho.

b. La escala del dibujo: Las variaciones de pendiente son detalles altimétricos y éstos, como los planimétricos, deben ser reproducidos en la carta siempre que sean compatibles con la escala, salvo los casos especiales que, por su importancia, se reemplazarán por el signo convencional.

Si la escala es grande, dará cabida a cualquier detalle por insignificante que sea; pero si la escala es chica, habrá que elegir los detalles fundamentales. En consecuencia, la escala influirá en la elección del acotamiento de ciertos cambios de pendientes más que de otros y, en definitiva, en la elección de la equidistancia que los reproduce mediante las curvas de nivel.

Por ejemplo, a escala 1:25000, se podrán reproducir las inflexiones más insignificantes empleando, por ejemplo, la equidistancia 1,25 m. En cambio, a escala 1:50000 y más aún a escala 1:100000 se deberán eliminar muchas inflexiones locales y aceptar las características altimétricas generales, eligiendo respectivamente, por ejemplo, la equidistancia 2,50 m y 5 m.

Este procedimiento es necesario, porque una de las finalidades fundamentales del empleo de las curvas de nivel es facilitar la lectura, puesto que si se sobrecarga la carta con líneas y signos innecesarios se produce una confusión de líneas y se tapa la planimetría.

En conclusión, una vez reconocido el terreno, se elegirá la equidistancia que, con el menor número de curvas de nivel, represente las formas del terreno más características dentro de la capacidad de la escala.

Métodos para la Determinación de las Curvas de Nivel

Una vez realizado el levantamiento topográfico y determinadas las coordenadas Norte, Este y cota de cada punto sobre la superficie del terreno, se procede a la elaboración del plano acotado.

Como las curvas de nivel son líneas que unen los puntos de igual elevación, y en el trabajo de campo difícilmente se obtienen las cotas enteras, es necesario recurrir a un proceso de interpolación lineal entre puntos consecutivos, para ubicar dentro del plano los puntos de igual elevación.

El proceso de interpolación es un proceso de interpolación lineal, ya que en la determinación de detalles se toman las cotas de los puntos de quiebre del terreno, por lo que la cota o elevación del terreno varía uniformemente entre un punto y otro.

Finalmente, determinada la ubicación de los puntos de igual elevación, procedemos a unirlos por medio de líneas continuas completando de esta manera el plano a curvas de nivel.

Características de las Curvas de Nivel

- Debido a que la superficie de la tierra es una superficie continua, las curvas de nivel son líneas continuas que se cierran en sí mismas, bien sea dentro o fuera del plano, por lo que no se deben interrumpir en el dibujo (figura 5.13).

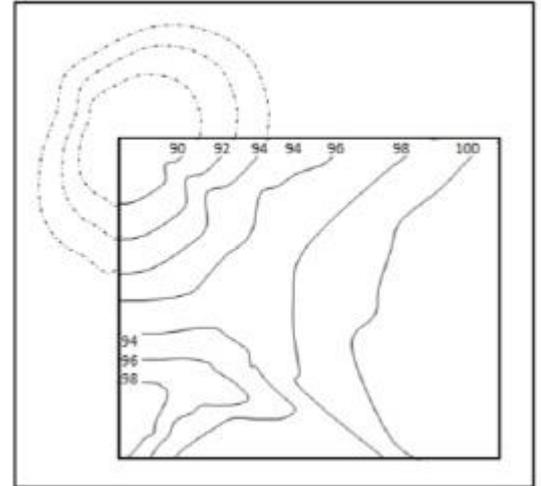


Figura 5.13: Las curvas de nivel se cierran

- Las curvas de nivel nunca se cruzan o se unen entre sí, salvo en el caso de un risco o acantilado en volado o en una caverna, en donde aparentemente se cruzan, pero están a diferente nivel.
- Las curvas de nivel nunca se bifurcan o se ramifican (figura 5.14).

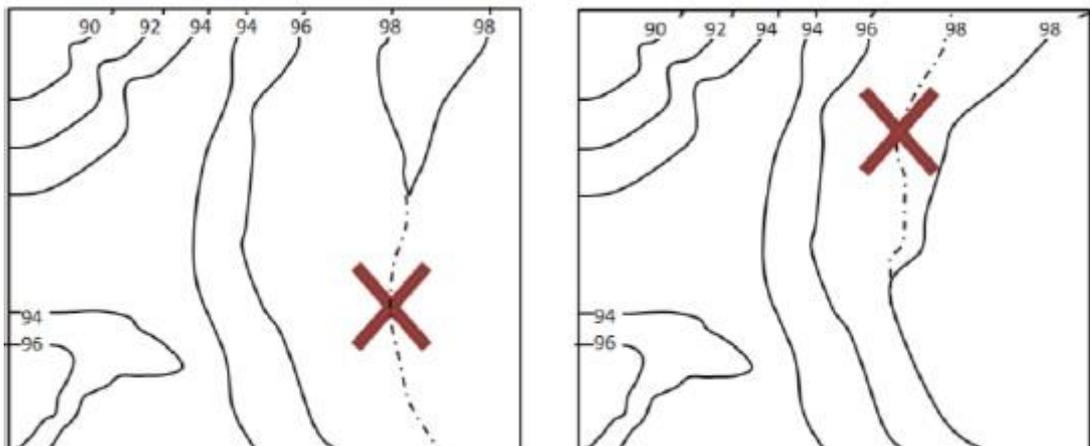
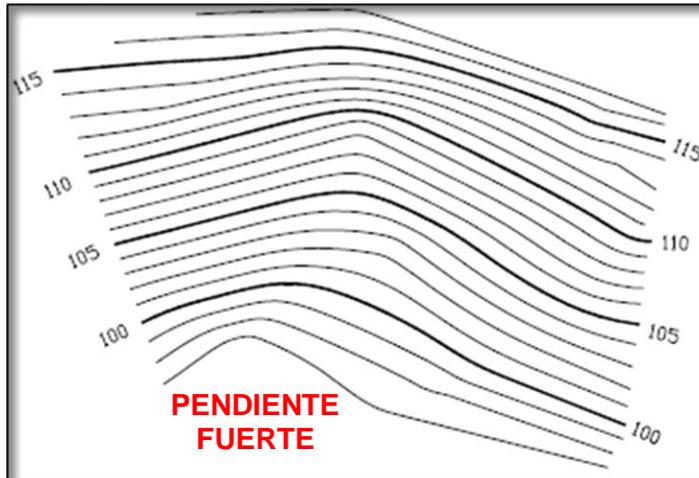


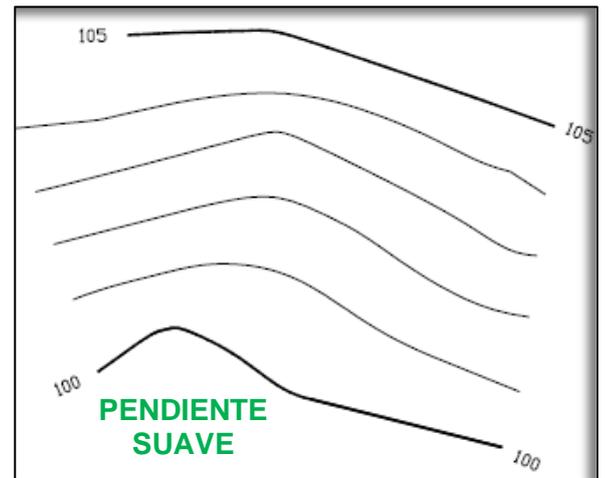
Figura 5.14: Las curvas de nivel no se ramifican

- La separación entre las curvas de nivel indica la inclinación del terreno. Curvas muy pegadas indican pendientes fuertes (figura 5.15), curvas muy separadas indican pendientes suaves (figuras 5.16).



**PENDIENTE
FUERTE**

Figura 5.15: Pendiente fuerte



**PENDIENTE
SUAVE**

Figura 5.16: Pendiente suave

- Curvas concéntricas cerradas, en donde las curvas de menor cota envuelven a las de mayor cota indican un cerro o colina (figura 5.17).
- Curvas concéntricas cerradas, donde las curvas de mayor cota envuelven a las de menor cota indican una depresión (figura 5.18).

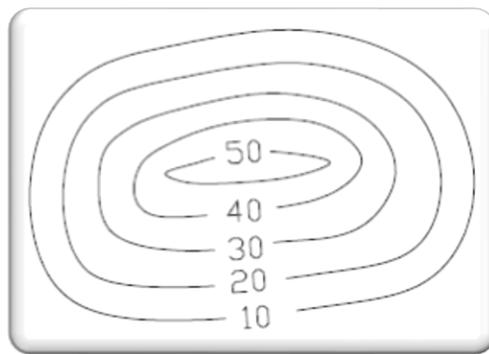


Figura 5.17: Colina

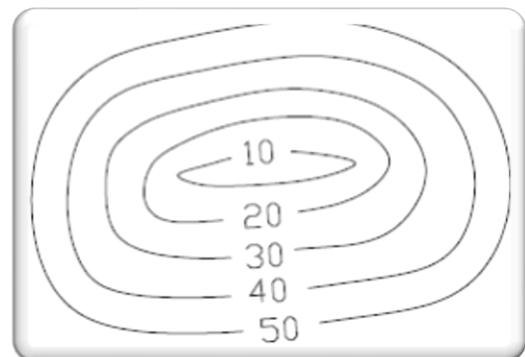


Figura 5.18: Depresión

- Curvas con dos vertientes o laderas en forma de U, donde las curvas de menor cota envuelven a las de mayor cota representan estribos o elevaciones. La línea de unión de las dos vertientes por la parte central de la forma de U representa la divisoria de las vertientes (figura 5.19).
- Curvas con dos vertientes o laderas en forma de V, donde las curvas de mayor cota envuelven a las de menor cota representan un valle o vaguada. La línea de unión de las dos vertientes por la parte central de la forma V indica la línea de menor cota del valle (figura 5.20).

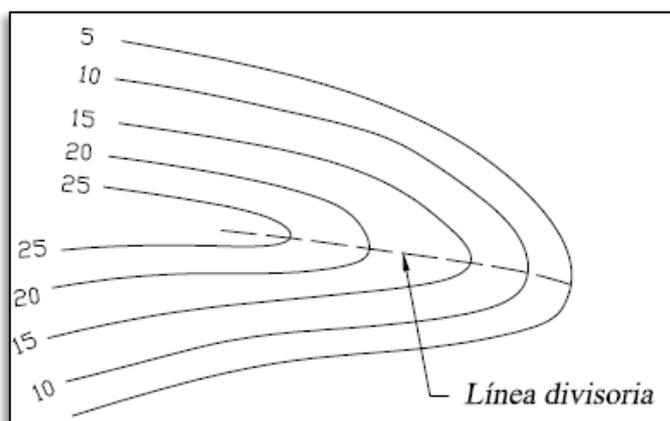


Figura 5.19: Estribos

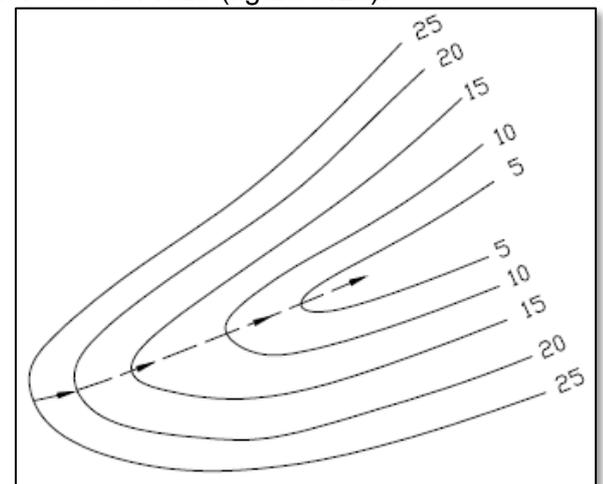
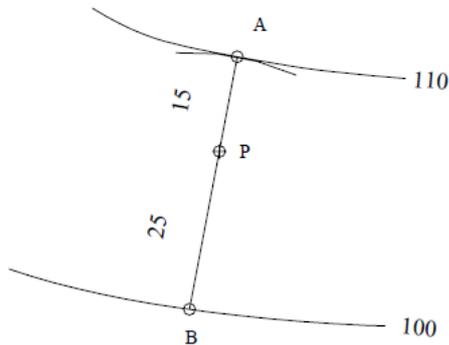


Figura 5.20: Valles

Cálculo de la Cota de un Punto entre curvas de nivel

Para poder hallar la cota de un punto en un plano de curvas de nivel se debe realizar una comparación de triángulos como lo muestra la figura 5.21.



Comparando triángulos:

$$\frac{10m}{40m} = \frac{y_P}{25}$$

$$C_P = 100 + y_P = 100 + \frac{25m \cdot 10m}{40m} = 106,25m$$

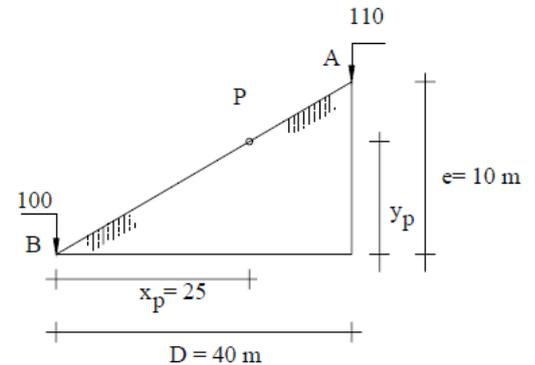


Figura 5.21: Comparación de triángulos

Clases de curvas de nivel.

Existen cuatro clases de curvas de nivel:

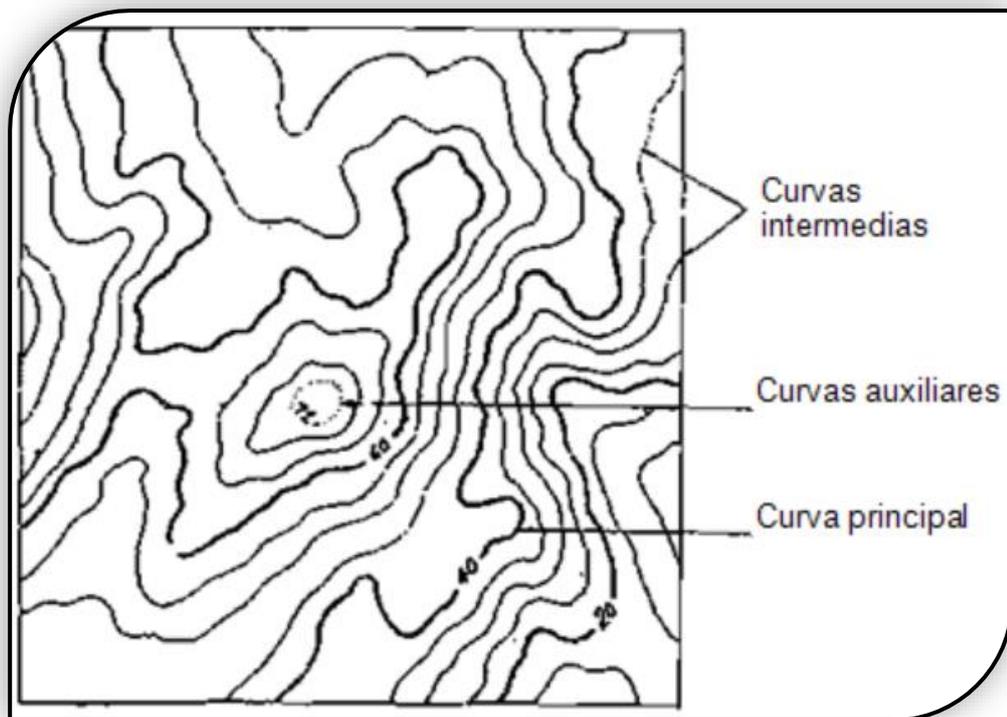


Figura 5.22: Tipos de curvas de nivel

a. Curvas de equidistancia o intermedias: Son aquellas que representan el valor unitario de variación constante de nivel entre las curvas contiguas. Se dibujan con un tipo de líneas delgadas y continuas (Figura 5.22).

b. Curvas principales o directrices: Son aquellas curvas de equidistancia dibujadas a diferencia constante de altitud para facilitar la lectura y dar expresión de relieve al terreno. Se dibujan con línea gruesa continua y debe llevar una separación plausible. (Figura 5.22).

c. Curvas auxiliares: Son curvas de uso excepcional para representar un relieve local de interés que no alcanza la equidistancia establecida. Se dibuja con líneas de trazos fina de 1 mm y separadas 0,5 mm. (Figura 5.22).

d. Curvas figurativas: Son aquellas que se emplean en los sectores en que el relieve representado no es resultante de un levantamiento topográfico. Sólo indican la forma aproximada del terreno. Se las dibuja con una línea de trazo de 3,5 mm de largo y del grosor de las curvas de equidistancia o principales a las cuales reemplaza (Figura 5.23).

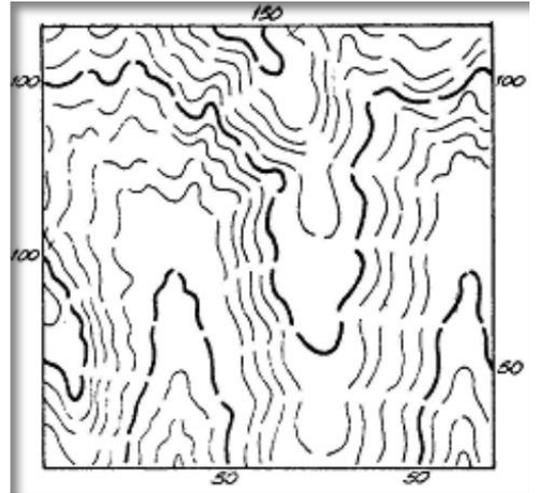


Figura 5.23: Curvas figurativas

Nivelación por radiación, nivelación por cuadrículas y nivelación por perfiles transversales.

Método de Radiación

El método de radiación es el método comúnmente empleado en levantamientos de superficies de mediana y gran extensión, en zonas de topografía accidentada, con vegetación espesa.

Este método se apoya en una poligonal base previamente levantada a partir de cuyos vértices se hacen radiaciones a fin de determinar la ubicación de los puntos de relleno y de detalles.

Los equipos utilizados para levantamiento por radiación son el teodolito o el nivel junto con una mira vertical o la estación total.

En caso de utilizar el nivel y mira vertical, se deben anotar los ángulos horizontales y las lecturas a la mira con los hilos estadimétricos.

Cuando se usa estación total con prisma, generalmente los puntos quedan grabados automáticamente por sus coordenadas en la libreta de campo electrónica.

En la figura 5.24 se representa un levantamiento por radiación con apoyo en la poligonal E1-E2-E3 mientras que en la figura 5.25 la poligonal sólo posee dos puntos

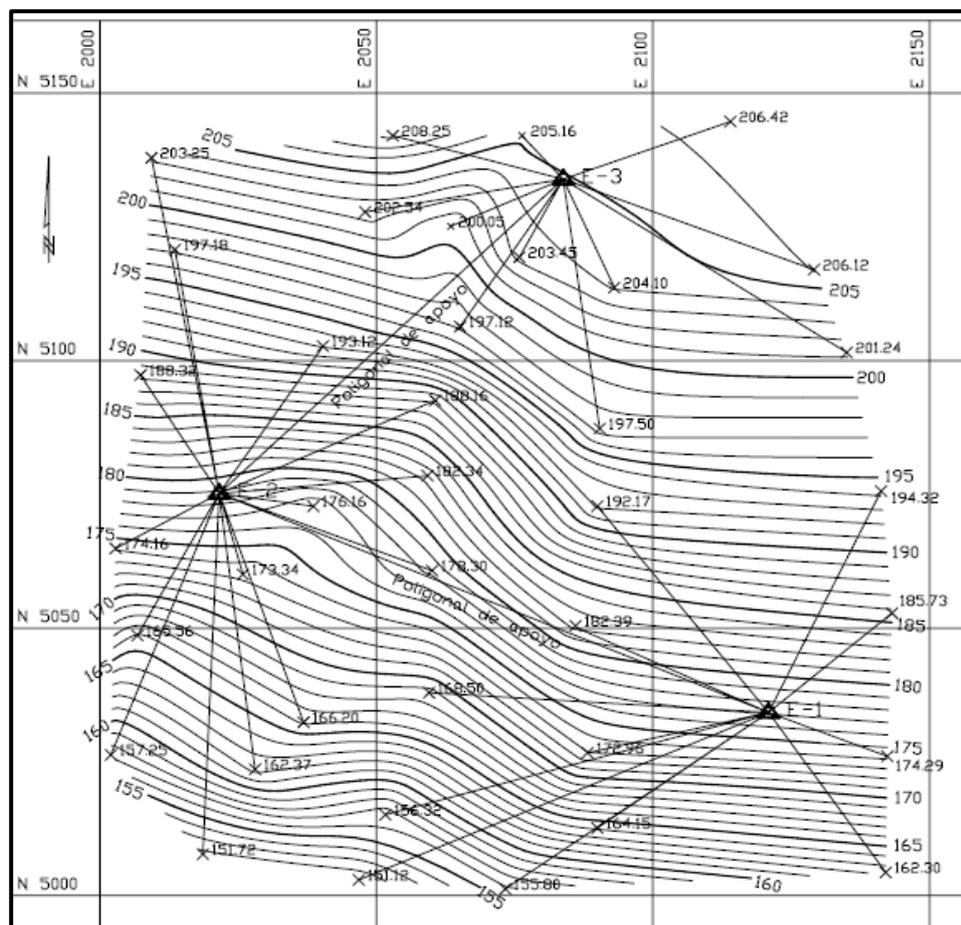


Figura 5.24: Método de radiación

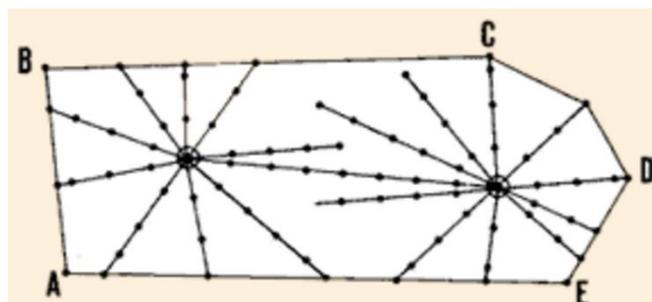


Figura 5.25: Método de radiación

Método de la Cuadrícula

Este método se utiliza para levantamiento de áreas pequeñas, en terrenos planos, con pendientes uniformes de baja vegetación.

El método consiste en trazar sobre el terreno un sistema reticular de 5, 10 ó 20 m de lado con la ayuda de cintas métricas, teodolito, nivel, escuadras; dependiendo de la precisión requerida.

Cada intersección de la cuadrícula es marcada con una estaca o ficha e identificada por una letra y un número, tal y como se muestra en la libreta de campo de la figura 5.26.

Luego se estaciona el nivel en un punto conveniente, cercano al centro del área a levantar, desde donde se puedan tomar lecturas a la mira en el mayor número de intersecciones. Conocida la cota o elevación de la estación y con las lecturas a la mira, se calculan las cotas de los puntos de intersección.

En caso de ser requerido un cambio de estación, se debe tener cuidado de calcular la cota de la nueva estación antes de mudar el nivel.

Finalmente, se elabora el plano acotado, se interpola y se trazan las curvas de nivel.

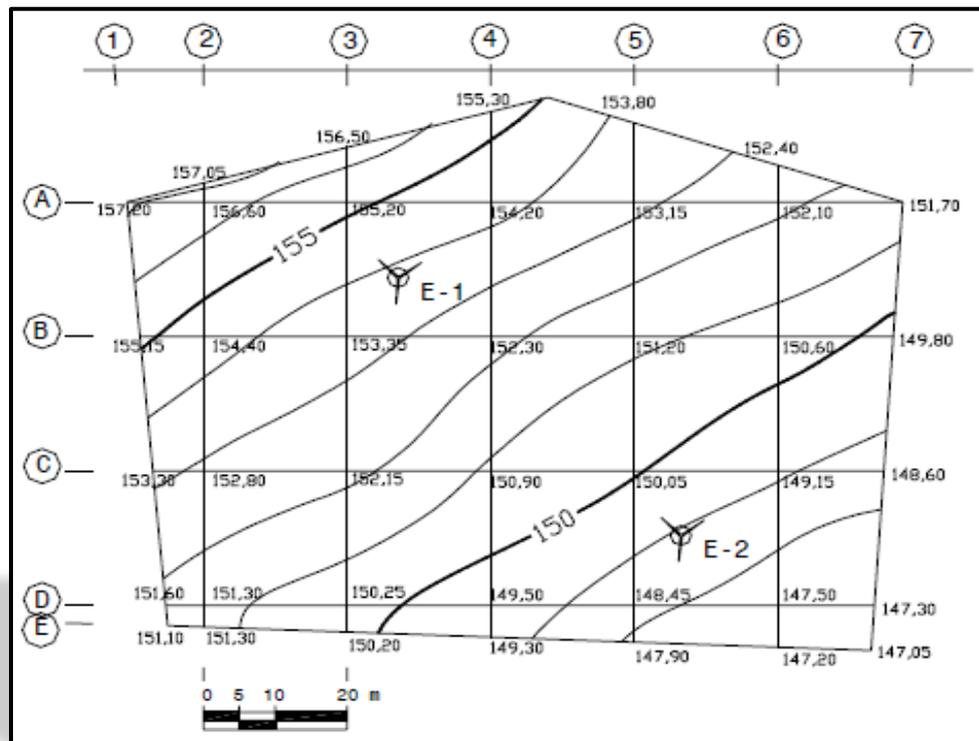


Figura 5.26: Método de la cuadrícula

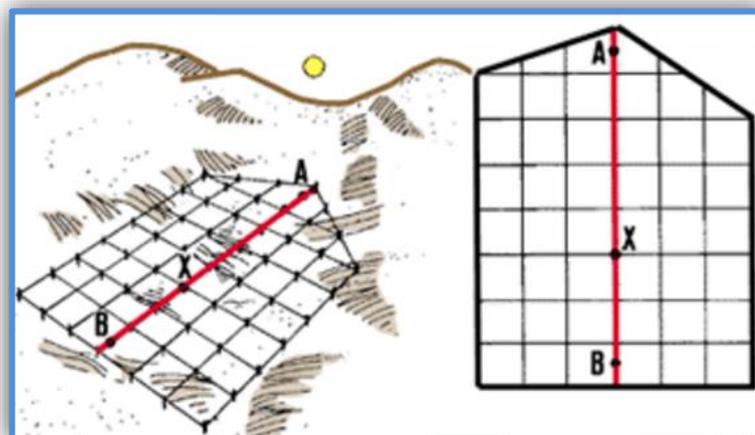


Figura 5.27: Método de la cuadrícula

Método de Secciones Transversales y Longitudinales o de Perfiles

Este método es el método comúnmente utilizado en levantamientos para estudio y proyectos de carreteras y ferrocarriles.

Al igual que en el método de radiación, se debe establecer previamente una o varias poligonales de apoyo, niveladas y compensadas.

Sobre sus lados se trazan, con la ayuda de la escuadra de prisma o de un teodolito, líneas perpendiculares sobre las cuales se tomarán los datos necesarios para la construcción de las secciones transversales.

La separación entre secciones depende del tipo de terreno, recomendándose secciones a cada 20 m en terreno de montaña y a cada 40 m en terreno llano.

El ancho de la sección transversal a cada lado del eje de la poligonal de apoyo dependerá de las características del proyecto a realizar.

Los puntos de detalle sobre las secciones transversales se ubican midiendo la distancia a partir del eje de la poligonal y determinando la cota correspondiente. La ubicación del punto con respecto al eje de la poligonal usualmente se indica con signo negativo si es a la izquierda o con signo positivo si es a la derecha.

Este sistema de referenciación de puntos se conoce como *coordenadas curvilíneas* y se representa en la figura 5.28.

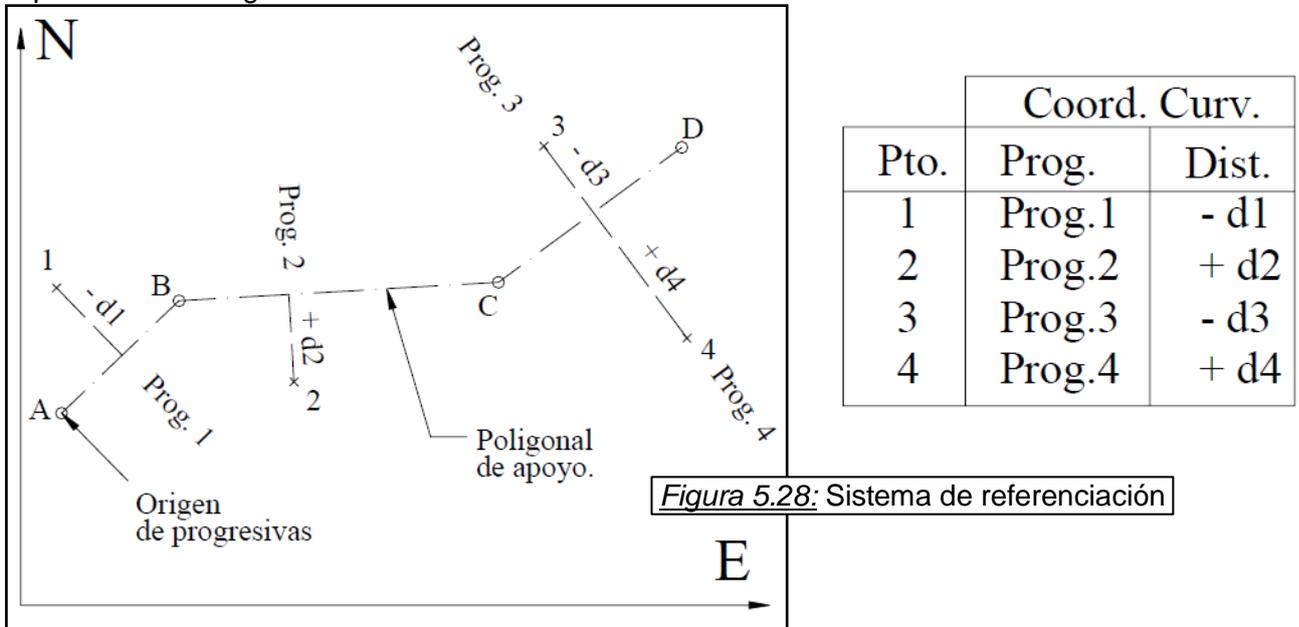


Figura 5.28: Sistema de referenciación

En la figura, los puntos 1, 2, 3 y 4, quedan definidos en función de la poligonal de referencia A, B, C, D, mediante la progresiva o distancia acumulada desde el origen y la distancia, sobre la perpendicular, desde el eje hasta el punto considerado.

Es costumbre anotar los datos en forma fraccionaria colocando en el numerador la distancia al eje y en el denominador la cota correspondiente como se indica a continuación

$$\frac{24}{152,30} \rightarrow \frac{\text{distancia al eje}}{\text{Cota del punto}}$$

El perfil longitudinal es la traza que el eje del proyecto marca sobre el plano vertical.

Las secciones transversales son perfiles perpendiculares al eje de referencia del proyecto. Éstas se utilizan para el cálculo del volumen del movimiento de tierras necesarias en la construcción de un proyecto.

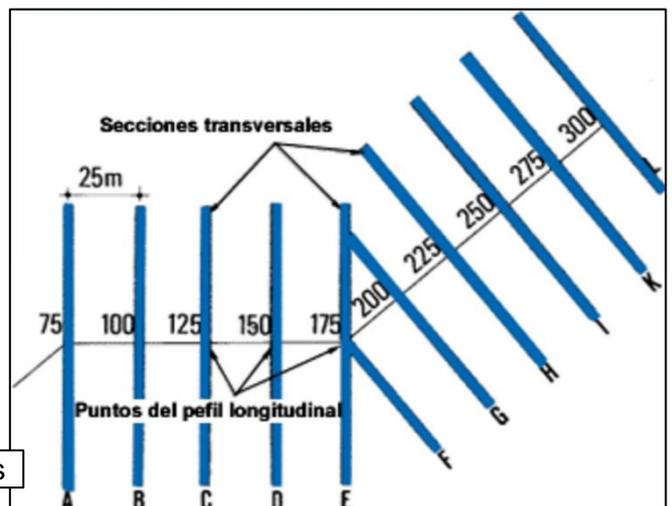


Figura 5.29: Secciones transversales

La forma de medición de los perfiles en campaña se realiza como se muestran en la figura 5.30 generando, en este caso, un perfil longitudinal.

Vista en planta

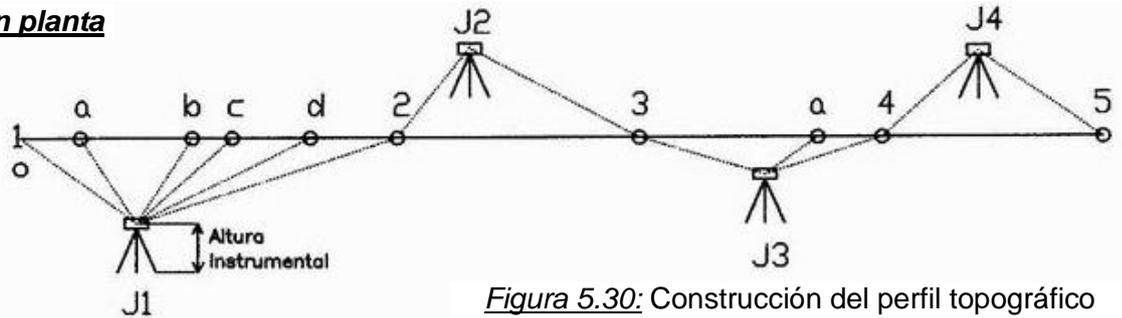


Figura 5.30: Construcción del perfil topográfico

Luego se construye el perfil indicando como lo muestra la figura 5.31 las distancias parciales y acumuladas hasta cada punto como el nombre y la cota de este.

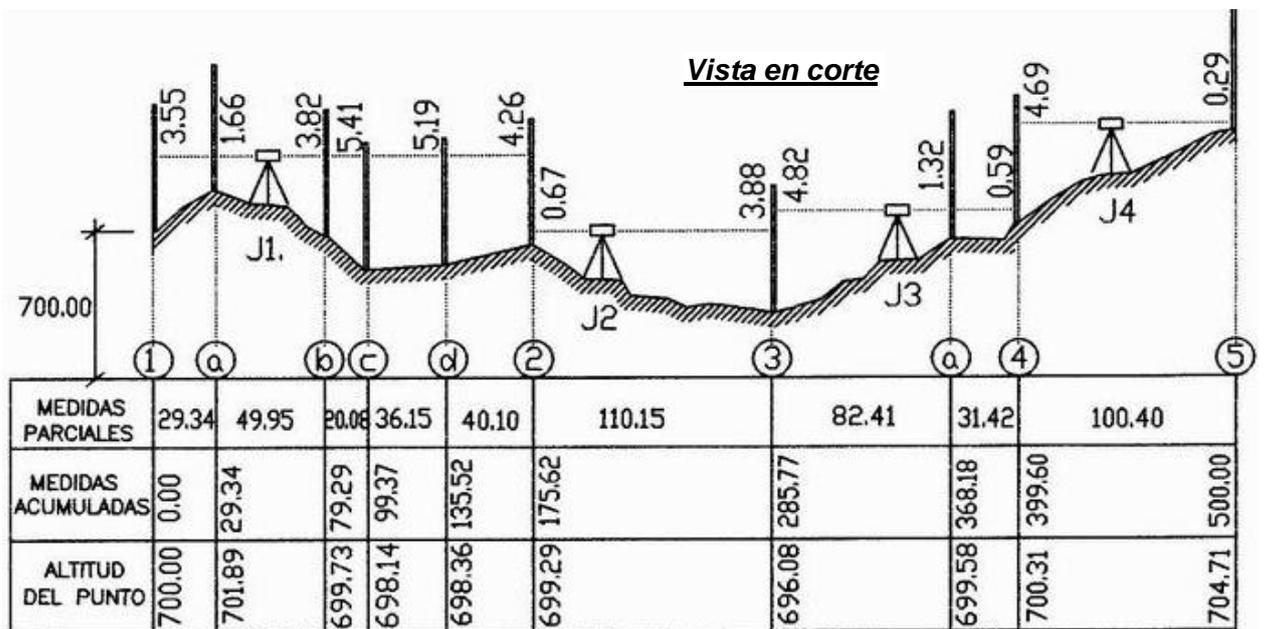


Figura 5.31: Perfil topográfico

En esta última imagen se agregaron las estaciones realizadas y las lecturas en cada mira aunque **NO** deben ir en un perfil topográfico y además en la misma se omitieron las escalas verticales y horizontales que **SÍ** deben ir en el mismo.

Cálculo de volúmenes de excavación.

En todo proyecto de ingeniería se requiere de la modificación del terreno original. Por ejemplo: en el proceso de construcción de una carretera, es necesario mover grandes cantidades de tierra; en la construcción de terraplenes, es necesario calcular el volumen del terraplén, y el volumen del material de corte o préstamo necesario para su construcción; en el caso de la construcción de represas, embalses, canales, etc., se requiere el cálculo del volumen de construcción y de almacenamiento; en la construcción de edificaciones, aparte del volumen de excavación para las fundaciones, es necesario determinar el volumen de concreto requerido para el vaciado de las estructuras, siendo estas generalmente figuras geométricas conocidas.

En topografía generalmente el cálculo de los volúmenes se realiza a partir de secciones transversales tomadas perpendicularmente a lo largo del eje central longitudinal y existen dos métodos para realizar su cálculo: El *método de las áreas medias* y el *método del prismoide*.

El primero tiene la ventaja de ser un método fácil de entender y de implementar, pero tiene la desventaja de que sus resultados no son tan exactos como el segundo.

Antes de explicar cada método debemos aclarar que sobre una sección transversal se pueden realizar dos procesos: **desmante** (extracción de tierra) o **terraplén** (agregado de tierra)

En el ejemplo de la figura 5.32 se observa que sobre una sección se requiere realizar desmante.

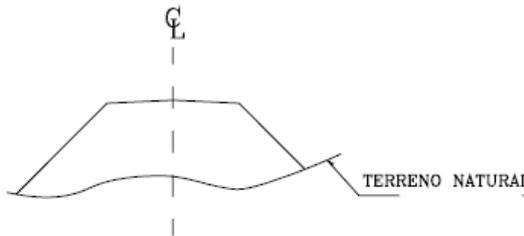


Figura 5.33: Terraplén

En el ejemplo de la figura 5.34 se observa que sobre una sección se requiere realizar desmante (sobre el sector izquierdo) y terraplén (sobre el sector derecho)



Figura 5.32: Desmante

En el ejemplo de la figura 5.33 se observa que sobre una sección se requiere realizar desmante.

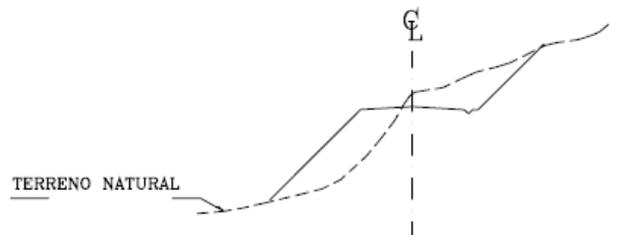


Figura 5.34: Desmante y terraplén

Método de las áreas medias para el cálculo de volúmenes

En este método, el volumen entre dos secciones consecutivas del mismo tipo como se muestra en la figura 5.35, está dada por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{1}{2} * (A_1 + A_2) * d$$

En donde:

V=Volumen entre ambas secciones en m³

A₁, A₂=Área de las secciones S₁ y S₂ en m²

d=distancia entre secciones S₁ y S₂ en m.

La fórmula considera que existe un área promedio entre el área de la primera sección y de la segunda y que, al multiplicarla por la distancia entre las secciones, se puede obtener el volumen de terraplén o de desmante que se desea realizar.

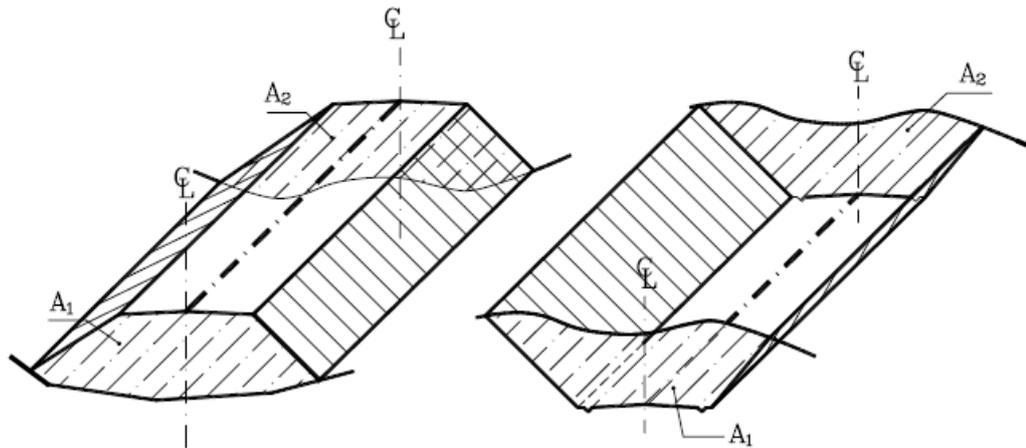


Figura 5.35: Secciones consecutivas del mismo tipo, terraplén (izq.) y desmote (der.)

En el caso de que exista entre dos secciones consecutivas una de terraplén y otra de desmote como se muestra a continuación en la figura 5.36 se genera una *línea de paso* a lo largo, en la cual la cota del terreno coincide con la cota de la superficie de subrasante o superficie terminada del movimiento de tierra. En este caso particular, entre ambas secciones se generará un volumen de desmote y un volumen de terraplén.

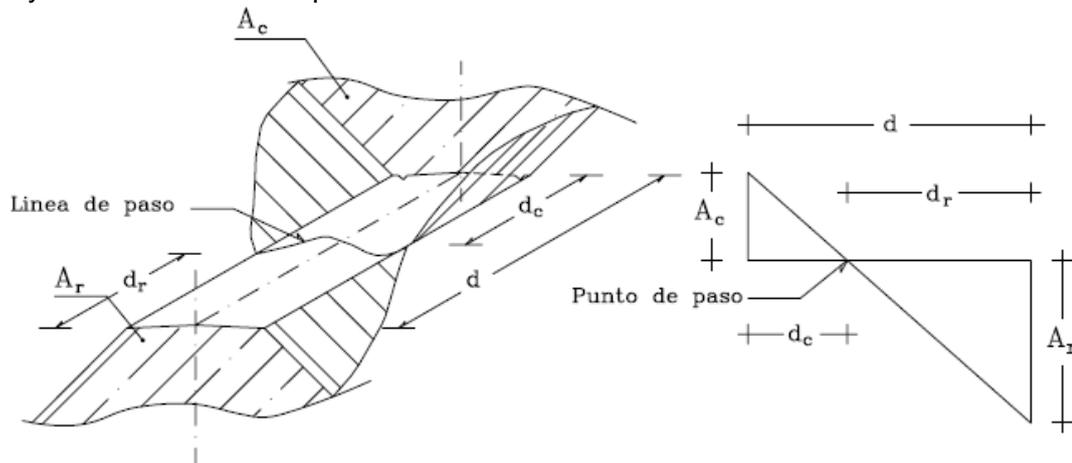


Figura 5.36: Secciones consecutivas de diferente tipo

El *volumen de desmote* entre el área de desmote "\$A_c\$" y el área de la línea de paso "\$A_0=0\$" y el *volumen de terraplén* entre el área de terraplén "\$A_r\$" y el área de la línea de paso "\$A_0=0\$", se calculan mediante las ecuaciones que se indican a continuación:

$$V_{desm} = \frac{1}{2} * (A_c + A_0) * d_c$$

$$V_{terr} = \frac{1}{2} * (A_r + A_0) * d_r$$

En donde:

\$V_{desm}\$, \$V_{terr}\$ =Volumen de desmote y de terraplén en \$m^3\$

\$A_c\$, \$A_r\$=Áreas de las secciones de corte y de terraplén en \$m^2\$

\$A_0\$=Áreas de la sección en la línea de paso, \$A_0=m^2\$

\$d\$=distancia entre secciones en m.

\$A_c\$ y \$A_r\$ se deben calcular mediante la relación de triángulos como se muestra en la figura 5.36 obteniendo de esta manera las siguientes expresiones:

$$d_c = \frac{A_c}{A_c + A_r} * \frac{d}{2}$$

$$d_r = \frac{A_r}{A_c + A_r} * \frac{d}{2}$$

Por último, vale aclarar que si sobre una misma sección se genera un sector de terraplén y otro de desmonte (ver figura 5.34), deberíamos dividir el problema en dos partes a la hora de realizar los cálculos.

Método del prismoide para el cálculo de volúmenes

Un prismoide es un sólido cuyos lados extremos son paralelos y sus superficies laterales son planas o alabeada. Un ejemplo es el que se muestra en la siguiente figura 5.37:

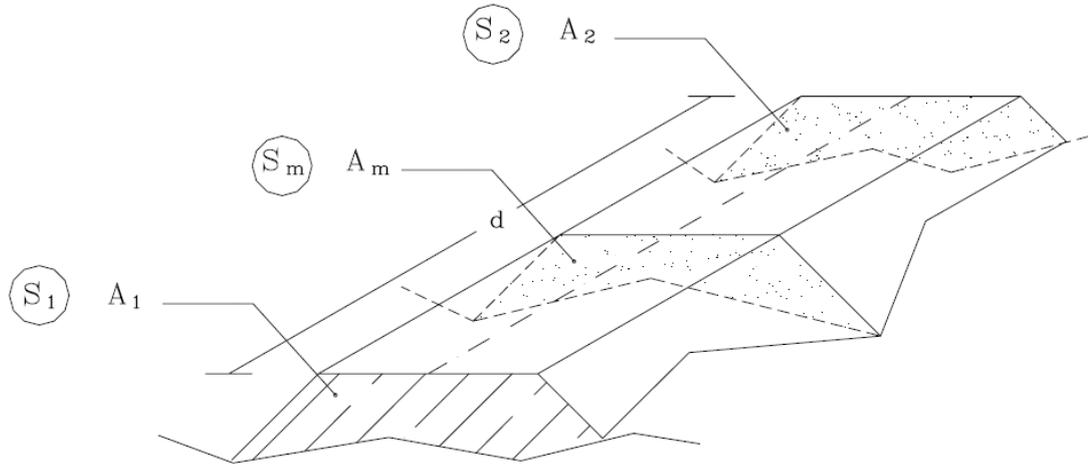


Figura 5.37: Método del prismoide

La fórmula de su cálculo es la siguiente:

$$V = \frac{1}{6} * (A_1 + A_2 + 4 * A_m) * d$$

En donde:

V=Volumen entre ambas secciones en m³

A₁, A₂=Área de las secciones S1 y S2 en m²

A_m=Área de la sección transversal en el punto medio entre S₁ y S₂ en m²

d=distancia entre secciones S₁ y S₂ en m.

La fórmula considera 4 áreas de la sección transversal en el punto medio entre S₁ y S₂ (Am) para luego realizar un promedio entre 6 secciones (A₁ + A₂ + 4 * A_m)/6 y multiplicarlo por la distancia total.

Interpretación de planos acotados.

Plano de curvas de nivel

El siguiente plano puede ser interpretado a través de las características de las curvas de nivel vistas anteriormente y debe contener las coordenadas X e Y de la cuadrícula utilizada como la altura de las curvas de nivel, además se debe incluir en el plano la escala y el Norte (que en la figura 5.38 no aparece ya que se encuentra en la descripción de la cartografía).

De esta manera podremos interpretar el plano de la figura 5.38 como se observa en la figura 5.39 observando que el terreno se encuentra más bajo en los bordes del plano que en el centro.

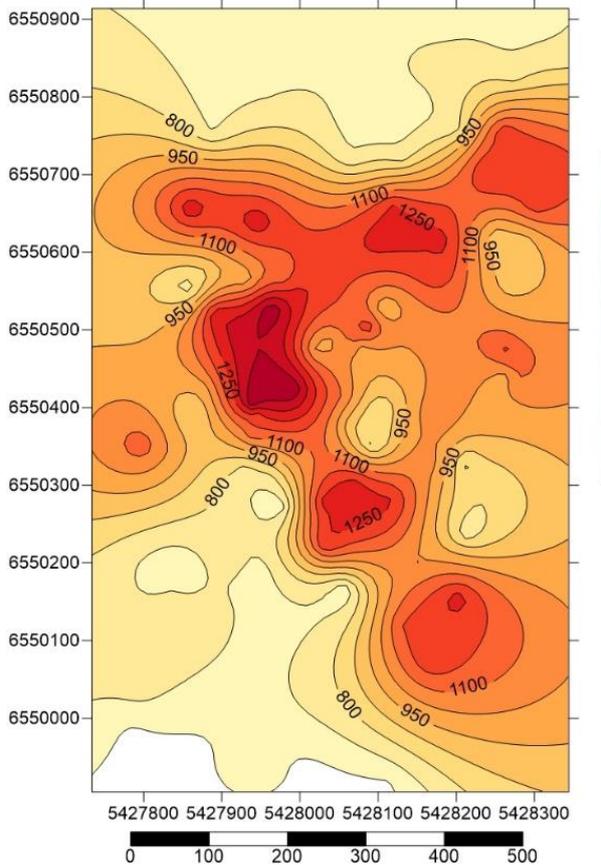


Figura 5.39: Interpretación de curvas de nivel



Figura 5.38: Plano de curvas de nivel

Por último, con lo interpretado en el anterior plano se podría realizar un modelo digital del terreno como se muestra en la figura 5.40

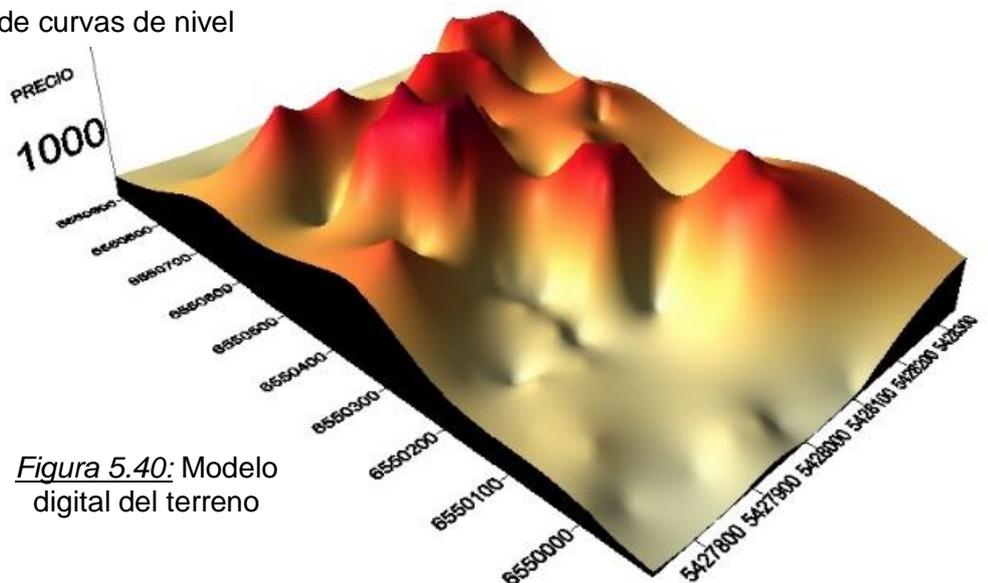


Figura 5.40: Modelo digital del terreno

Perfiles topográficos

Para poder realizar un perfil topográfico anteriormente debemos tener el trabajo de campo y gabinete ya terminado o las curvas de nivel del terreno.

A partir de las curvas de nivel podemos armar un perfil topográfico como lo muestra la siguiente figura 5.41. En la misma se ubican los puntos que en planta poseen cota a través de una curva de nivel y se los ubica en el perfil. Este último debe contener una escala vertical para observar las variaciones de nivel (que en el ejemplo es 1:200), una escala horizontal (que en el ejemplo es 1:1000) y una tabla en donde se indiquen las distancias parciales y progresivas a cada punto como la cota del terreno en el mismo.

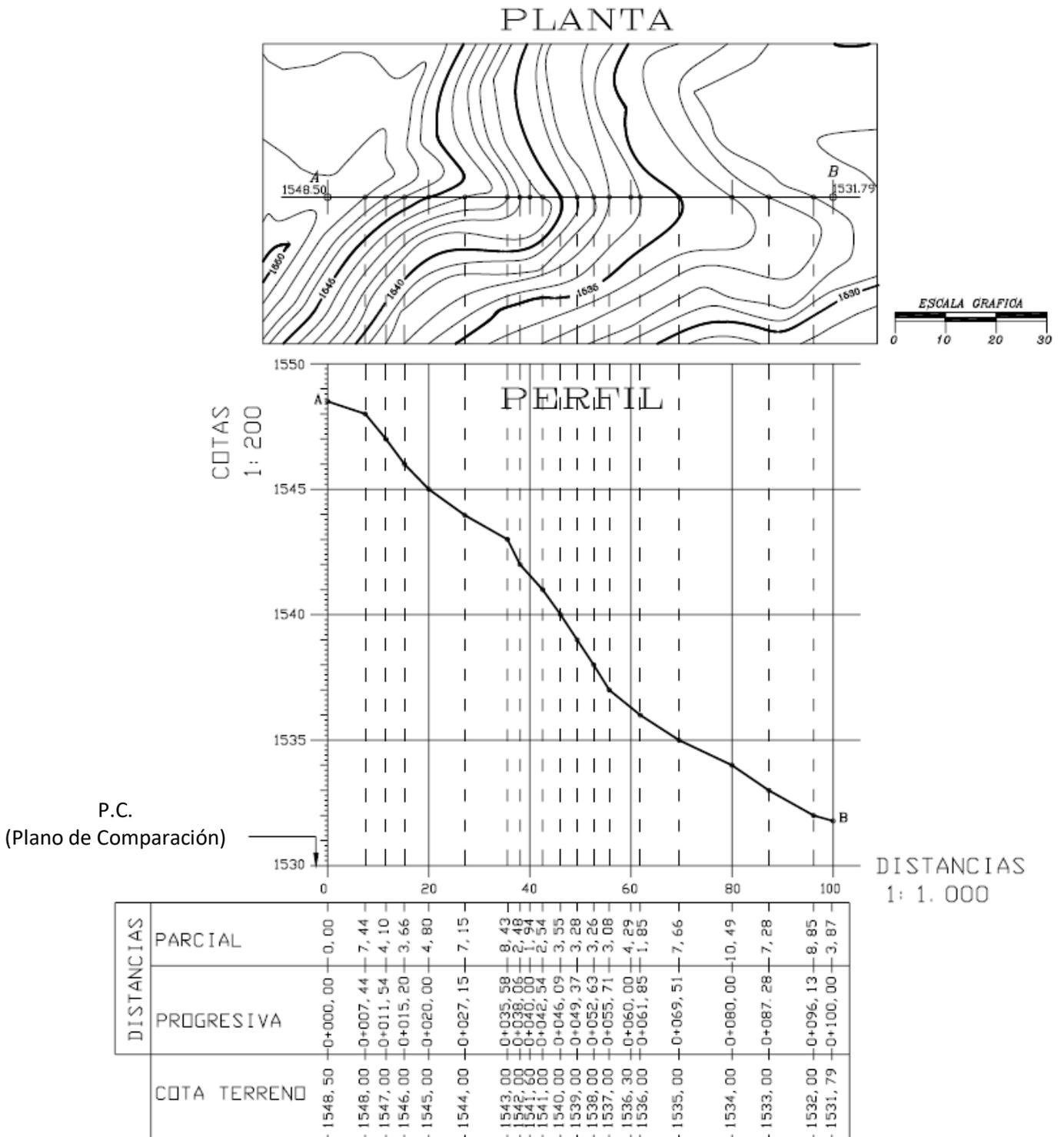


Figura 5.41: Perfil topográfico